

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 1 de 10

16.

FECHA	Lunes, 13 de junio de 2022
--------------	----------------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Girardot
TIPO DE DOCUMENTO	Tesis de grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería ambiental

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Barreto Corredor	Santiago	1007806689
Campos Góngora	Daniel Farid	1109266262

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Molina León	Diana Carolina

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 2 de 10

TÍTULO DEL DOCUMENTO

Evaluación de la eficiencia de un equipo portátil energéticamente autosostenible en el tratamiento de aguas superficiales de la cuenca alta del Río Magdalena (2021)

SUBTÍTULO

(Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

EXCLUSIVO PARA PUBLICACIÓN DESDE LA DIRECCIÓN INVESTIGACIÓN

INDICADORES	NÚMERO
ISBN	
ISSN	
ISMN	

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO

03 de diciembre de 2021

NÚMERO DE PÁGINAS

54

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)

ESPAÑOL	INGLÉS
1. Río Magdalena	Magdalena river
2. Eficiencia,	Efficiency
3. Agua residual	Residual water
4. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.	Physicochemical and microbiological parameters
5. Tratamiento de agua	Water treatment
6. Sostenible energéticamente	Energetically sustainable

FUENTES (Todas las fuentes de su trabajo, en orden alfabético)

Acosta Castellanos, P. M., Caro Camargo, C., & Perico Granados, N. R. (10 de octubre de 2015). *revistas.unbosque.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/1WNP1QX>

Agudelo, S. A. (2012). *revistas.udea.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/4EleaJr>

Alarcón, P. E. (2019). *redalyc.org*. Obtenido de <https://cutt.ly/NElrNmN>

Alcaldía de Bogotá. (2014). *sdp.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/ZbyR6W8>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 3 de 10

Alvarez Pinzón, G. (2017). *bdigital.uexternado.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/YWIn3SI>

Becerra, M. R. (Oct de 2015). *foronacionalambiental.org.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/7vIPPaB>

Beita Sandí, W., & Barahona Palomo, M. (30 de Abril de 2010). *redalyc.org*. Obtenido de <https://cutt.ly/oWNHIUx>

Bes Monge, S., Silva, A., & Bengoa, C. (2018). *Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales*. España: CYTED.

Burbano, L. M. (2011). *bibliotecadigital.univalle.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/eW2O9z9>

CAR. (2010). *Boletín de calidad de las cuencas de la jurisdicción CAR*. Bogotá.

CAR. (2017). *Boletín del índice de calidad del agua en corrientes superficiales "ICA" 2017-II*. Bogotá D.C.

Chipiele, D. I. (2017). *core.ac.uk*. Obtenido de <https://cutt.ly/ubYnauH>

Chulluncuy Camacho, N. C. (16 de junio de 2011). *redalyc.org*. Obtenido de <https://cutt.ly/LWEGigy>

CORMAGDALENA. (25 de junio de 2013). *cormagdalena.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/jbysWRf>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (sf). *car.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/KEfACRf>

Cundinamarca, C. d. (Dic de 2015). *contraloria.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/PbJBbZh>

DANE. (2011). *dane.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/gbJVzws>

DANE. (2020). *Mejoras en retroproyecciones de población con base en el CNPV 2018*.

Departamento Nacional de Planeación. (2018). *colaboracion.dnp.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/2vHChAC>

Departamento Nacional de Planeación. (2018). *orarbo.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/dbJAMnl>

Durán, L. E. (Dic de 2016). *revistas.unilibre.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/MvHHqYy>

Durán, L. G. (Diciembre de 2016). *revistas.unilibre.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/8WEIESC>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 4 de 10

Gómez, M. C. (28 de Mayo de 2019). *repository.ucatolica.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/cvS8ncM>

Grisales Motato, A. L., Rojas Arrieta, W. (2016). *repositorio.utp.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/ZWNZOBR>

Hernandez Cortez, C., Castro Escarpulli, G., & Aguilera Arreola, G. (Ene de 2011). *mediagraphic.com*. Obtenido de <https://cutt.ly/rvHGVno>

IDEAM. (15 de junio de 2007). *ideam.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/kWV0g4Z>

IDEAM. (14 de junio de 2007). *ideam.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/XWV7KIF>

IDEAM. (Mar de 2019). *cta.org.co*. Obtenido de cutt.ly/fvID4FT

Instituto Humboldt. (2020). *XIX Peces de la Cuenca del Rio Magdalena, Colombia*. (C. A. Lasso, Ed.) Bogotá D.C.: Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia.

Instituto Nacional de Salud. (Mayo de 2020). *ins.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/ObWSMY4>

Larrea Murrell, J. A., Rojas Badia, M. M., Romeu Álvarez, B., Rojas Hernandez, N. M., & Heyrich Pérez, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 24-34.

MADS, MINSALUD. (22 de junio de 2007). *minambiente.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/LWBeByM>

Millán Villarroel, D., Romero González, L., Brito, M., & Ramos Villarroel, A. (Sept de 2015). *redalyc.org*. Obtenido de <https://cutt.ly/DbYml9C>

MinAmbiente. (30 de Nov de 2017). *minambiente.gov.co*. Obtenido de cutt.ly/5vIA5GA

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (13 de agosto de 2014). *minambiente.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/HWlAd6z>

Nabeela, F., Azizullah, A., Bibi, R., Uzma, S., Murad, W., Khan, S., . . . Häder, D.-P. (25 de Jul de 2014). *researchgate.net*. Obtenido de <https://cutt.ly/hbWUITt>

Olea, N., & Fernandez, M. (Nov de 2001). *istas.net*. Obtenido de <https://cutt.ly/1bWTqBm>

ONU. (Feb de 2017). *who.int*. Obtenido de <https://cutt.ly/xvIGSLR>

ONU. (2019). *Naciones Unidas*. Obtenido de Una población en crecimiento: <https://cutt.ly/rzpdRco>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 5 de 10

Ortegon Torres, L., Ordoñez Osorio, K., Henao Murillo, B., Guio Duque, A., & Pelaez Jaramillo, C. (11 de Nov de 2015). *revistas.ut.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/ybYmPvF>

Ospina Zúñiga, Ó. E., Ochoa Olaya, A. J., & Vélez Ramirez, M. Y. (27 de noviembre de 2017). *scielo.org.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/KEizMj4>

Plenge Tellechea, F., Sierra Fonseca, J. A., & Castillo Sosa, Y. A. (Sept de 2007). *tecnociencia.uach.mx*. Obtenido de <https://cutt.ly/TbWYwVk>

Procuraduría General de la Nación. (18 de Oct de 2013). *procuraduria.gov.vo*. Obtenido de <https://cutt.ly/3vIDaSC>

República de Colombia. (1991). *dapre.presidencia.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/0blRHOf>

Rojas, J. (Sept de 2011). *researchgate.net*. Obtenido de cutt.ly/lvInNu5

Rojas, J. A. (2002). *Calidad del agua 2da edición*. Bogotá DC.: Escuela Colombiana de Ingeniería .

Rossel Bernedo, L. J., Rossel Bernedo, L. A., Ferro, M., Ferro Gonzales, A. L., & Zapana Quispe, R. R. (enero de 2020). *scielos.org.pe*. Obtenido de <https://cutt.ly/fWNAUJg>

Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escibar, J. C. (3 de diciembre de 2007). *redalyc.org*. Obtenido de <https://cutt.ly/VWEOOci>

Suárez Pulido, D. X. (2019). *repositorio.uptc.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/gWEAKkL>

Suárez, D. X. (2019). *REMOCIÓN DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL Y MICROORGANISMOS PATÓGENOS EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO BOGOTÁ MEDIANTE EL USO DE UN DISPOSITIVO AUTO-SOSTENIBLE*. Tunja.

Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (05 de octubre de 2009). *scielo.org.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/NWEjHtr>

UNIANDES. (5 de diciembre de 2019). *uniandes.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/oElrxUk>

Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2020). *regioncentralrape.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/MvH1jhN>

Valladares Cisneros, M. G., Valerio Cárdenas, C., de la Cruz Burelo, P., & Melgoza Alemán, R. M. (21 de diciembre de 2016). *scielo.org.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/6WVXLuX>

Viceministerio de Ambiente. (Mar de 2010). *minambiente.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/ybIR2j1>

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 6 de 10

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS
(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

En español

Colombia es un país favorecido en oferta hídrica de agua dulce superficial, sin embargo la calidad del recurso se encuentra en deterioro constante al estar expuesta principalmente a vertimientos de agua residual de tipo doméstico y agroindustrial. Dicha situación se evidencia claramente en la cuenca alta del río Magdalena, que a su paso por el municipio de Girardot disminuye su calidad aguas abajo por la desembocadura del río Bogotá, además de los aportes de las aguas residuales de los municipios de Girardot y Flandes.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación plantea evaluar la eficiencia de un dispositivo para el tratamiento de aguas superficiales, constituido por un lecho filtrante de arena y carbón activado y una unidad de desinfección empleando luz ultravioleta; el equipo es energéticamente autosostenible ya que cuenta con un sistema que transforma energía solar en eléctrica.

El tratamiento consistió en comparar la caracterización de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua obtenidas en tres puntos de muestreo, embarcadero de Girardot, Vereda Zumbamicos y Vereda Barrialosa.

En inglés

Colombia is a favored country in water supply of fresh surface water, however the quality of the resource is constantly deteriorating as it is mainly exposed to domestic and agro-industrial wastewater discharges. This situation is clearly evident in the upper basin of the Magdalena River, which, as it passes through the municipality of Girardot, decreases in quality downstream through the mouth of the Bogotá River, in addition to the contributions of wastewater from the municipalities of Girardot and Flandes.

Therefore, the present research work proposes to evaluate the efficiency of a device for the treatment of surface waters, constituted by a filter bed of sand and activated carbon and a disinfection unit using ultraviolet light; The equipment is energetically self-sustaining since it has a system that transforms solar energy into electricity.

The treatment consisted of comparing the characterization of physicochemical and microbiological parameters of the water samples obtained at three sampling points, Girardot pier, Vereda Zumbamicos and Vereda Barrialosa.

 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 7 de 10

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	S I	N O
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	x	
2. La comunicación pública, masiva por cualquier procedimiento o medio físico, electrónico y digital.	x	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	x	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	x	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 8 de 10

contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI ___ NO _x__.

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos) en carta adjunta, expedida por la entidad respectiva, la cual informa sobre tal situación, lo anterior con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 9 de 10

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándola a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).
- b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.
- c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.
- e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”
- i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 6
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2021-09-14
		PAGINA: 10 de 10



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



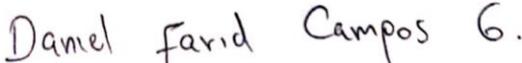
Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. Nombre completo del proyecto.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Evaluación de la eficiencia de un equipo portátil energéticamente autosostenible en el tratamiento de aguas superficiales de la cuenca alta del Río Magdalena (2021)	Texto
2.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
Barreto Corredor Santiago	
Campos Góngora Daniel Farid	

21.1-51-20.

**Evaluación de la eficiencia de un equipo portátil energéticamente autosostenible en el
tratamiento de aguas superficiales de la cuenca alta del Río Magdalena (2021)**

Santiago Barreto Corredor

Cód: 363217105

Daniel Farid Campos Góngora

Cód: 363217111

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
SECCIONAL GIRARDOT

2021

**Evaluación de la eficiencia de un equipo portátil energéticamente autosostenible en el
tratamiento de aguas superficiales de la cuenca alta del Río Magdalena (2021)**

Santiago Barreto Corredor

Cód: 363217105

Daniel Farid Campos Góngora

Cód: 363217111

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director (a): Diana Carolina Molina León

Licenciada en química – Magister en acuicultura

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
SECCIONAL GIRARDOT

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Dedicatoria

Santiago Barreto

Este trabajo de grado lo dedico a mis padres, Ana luz Corredor y German Barreto por siempre motivarme en lo que decido emprender y por brindarme su apoyo incondicional

A mi novia Camila Vásquez, por ser la persona que me impulsa a mejorar cada día y por la fortaleza brindada en este recorrido.

A mi hermano Nicolas Barreto, por ser participe en cada uno de mis logros.

Daniel Campos

Este trabajo es dedicado a mis padres, Alba Góngora y Alberto Campos que siempre me han apoyado y creído en mí.

A mis hermanos Eliana Campos y Danilo Campos que me han brindado su ayuda en todo momento.

A Mariana Peláez que me brindó todo su apoyo durante gran parte de este proceso.

Agradecimientos

A nuestra tutora Diana León, por su dedicación, orientación y buena disposición en la fase de elaboración del documento

A la cotutora Dalia Suarez, por su participación y orientación en cada una de las etapas del proceso.

Al Doctor John Sandoval valencia, porque con el inició la ejecución de este proyecto, ayudándonos con total voluntad y esmero a encaminar hacia su desarrollo

A la Universidad de Cundinamarca quien nos brindó los espacios para la ejecución del proyecto.

Al laboratorio de MCS CONSULTORÍA Y MONITOREO AMBIENTAL S.A.S por la caracterización de las muestras recolectadas.

A la comunidad de la Vereda Zumbamicos por su colaboración en las actividades planeadas.

Agradecimientos Santiago

A mi familia por su apoyo total, en especial a mis padres y a mi hermano por siempre estar a mi lado en este proceso.

A mi compañero y buen amigo Daniel Campos, por motivarme en los momentos requeridos, por su comprensión y gran ayuda en la culminación de este proyecto.

A Camila Vásquez, por su colaboración en la fase de socialización de los resultados obtenidos, pero sobre todo por su comprensión y apoyo incondicional.

Agradecimientos Daniel

Agradezco a mi familia por todo el apoyo y comprensión que siempre me han brindado.

A mi gran amigo Santiago Barreto por el acompañamiento, paciencia y apoyo durante estos años de estudio.

Tabla de contenido

Lista de tablas.....	8
Lista de figuras.....	9
Resumen.....	10
Abstract.....	12
Introducción.....	14
Planteamiento del problema.....	16
Justificación.....	18
Objetivos.....	19
Objetivo general.....	19
Objetivos específicos.....	19
Marco referencial.....	20
Marco teórico.....	20
Marco legal.....	24
Diseño metodológico.....	26
Ubicación geográfica y características de la zona de estudio.....	26
Puntos de muestreo.....	27
Equipo de tratamiento.....	28
Metodología de tratamiento.....	29
Socialización a la comunidad.....	32

Resultados y discusión	33
Parámetros evaluados	33
Parámetros físicos	34
Parámetros químicos	38
Parámetros microbiológicos	41
Socialización a la comunidad	43
Conclusiones	44
Recomendaciones	46
Referencias	47
ANEXO	52

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Normatividad referente al recurso hídrico para el caso de estudio.</i>	25
Tabla 2. <i>Normatividad referente para energías no convencionales para el caso de estudio.</i> .	25
Tabla 3. <i>Ubicación de los puntos de muestreo cuenca alta del Río Magdalena.</i>	28
Tabla 4. <i>Plan de trabajo para la toma de muestras y análisis de laboratorio correspondiente</i>	32
Tabla 5. <i>Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados por MCS CONSULTORÍA Y MONITOREO AMBIENTAL S.A.S</i>	33
Tabla 6. <i>Cloruros cuenca alta del Río Magdalena: EMB, ZUM, BAR</i>	39
Tabla 7. <i>Hierro cuenca alta del Río Magdalena: EMB, ZUM, BAR</i>	40
Tabla 8. <i>Metales no detectados en la cuenca alta del Río Magdalena: EMB, ZUM, BAR</i>	41
Tabla 9. <i>Coliformes fecales y totales cuenca alta del Río Magdalena: EMB, ZUM, BAR</i>	42
Tabla 10. <i>Cobertura de la socialización en la vereda Zumbamicos</i>	43

Lista de figuras

Figura 1.	.....	26
	<i>Mapa de la ubicación geográfica del área de estudio y puntos de muestreo</i>	26
Figura 2.	.....	29
	<i>Equipo de tratamiento</i>	29
Figura 3.	.....	31
	<i>Metodología para el tratamiento de las muestras obtenidas de la cuenca alta del Río Magdalena</i>	31
Figura 4.	.....	34
	<i>Color verdadero para la cuenca alta del Río Magdalena: EMB, ZUM, BAR</i>	34
Figura 5.	.....	36
	<i>Turbiedad cuenca alta del Río Magdalena: EMB, ZUM, BAR</i>	36
Figura 6.	.....	37
	<i>Sólidos totales cuenca alta del Río Magdalena: EMB, ZUM, BAR</i>	37

Resumen

Colombia es altamente favorecido en oferta hídrica de agua dulce superficial, sin embargo, la calidad del recurso se encuentra en deterioro constante al estar expuesta principalmente a vertimientos de agua residual de tipo doméstico y agroindustrial. Dicha situación se evidencia claramente en la cuenca alta del Río Magdalena, que a su paso por el municipio de Girardot disminuye su calidad aguas abajo por la desembocadura del Río Bogotá, además de los aportes de las aguas residuales de los municipios de Girardot y Flandes que son vertidas en algunos casos con tratamientos deficientes.

Por consiguiente, el presente trabajo de investigación plantea evaluar la eficiencia de un dispositivo para el tratamiento de aguas superficiales, constituido por un lecho filtrante de arena y carbón activado y una unidad de desinfección empleando luz ultravioleta. El equipo es energéticamente autosostenible, pues capta radiación solar por medio de cuatro paneles solares que conducen la energía a un controlador para luego ser almacenada por 2 baterías acopladas al sistema, en búsqueda de su uso en lugares de difícil acceso y donde no se cuente con los servicios de energía eléctrica ni agua apta para el consumo humano.

La evaluación de la eficiencia del equipo se determinó por medio del tratamiento realizado a tres muestras de agua recolectadas del Río Magdalena, exactamente en los puntos del embarcadero de Girardot, en la vereda Zumbambicos y en la vereda Barrialosa, tomando una cantidad aproximada de 60 litros en cada punto. Los parámetros considerados para la caracterización de las muestras comprenden análisis fisicoquímicos (color verdadero, turbiedad, sólidos totales, cloruros, hierro total y manganeso) y microbiológicos (coliformes totales y fecales). Se tomaron muestras cada 45 minutos empezando en el minuto 0 hasta completar la recirculación de 135 minutos.

En los resultados obtenidos con la ejecución del tratamiento para los parámetros físicos como la turbiedad y sólidos totales alcanzaron eficiencias superiores al 50% en la remoción de partículas suspendidas y disueltas, en cuanto a parámetros químicos, el hierro total alcanzó un valor máximo de 29 mg/L y eficiencias de remoción de hasta 85,83%, por otro lado, los metales pesados no fueron detectados por su presencia mínima en el medio, finalmente, los coliformes totales y fecales presentaron eficiencias inferiores a las esperadas.

En el proceso se evidenció que, en los parámetros físicos evaluados, el tiempo en el cual se presentó la mayor remoción en sus concentraciones fue en los primeros 45 minutos, atribuyéndose a que al inicio del tratamiento había mayor disponibilidad de sustancias disueltas y suspendidas en el medio, reduciendo con ello parte de los microorganismos adheridos a las partículas.

Palabras clave: Río Magdalena, eficiencia, agua residual, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Abstract

Colombia is highly favored in the water supply of surface freshwater, however, the quality of the resource is in constant deterioration as it is mainly exposed to domestic and agro-industrial waste water flows. This situation is clearly evident in the upper basin of the Magdalena River which in its passage through the municipality of Girardot decreases its quality downstream through the mouth of the Bogotá River, in addition to the contributions of wastewater from the municipalities of Girardot and Flandes that are discharged in some cases with poor treatments.

Therefore, the present research study proposes to evaluate the efficiency of a surface water treatment device, consisting of a filter bed of activated sand and carbon and a disinfection unit using ultraviolet light. The equipment is energy-self-sustaining, capturing solar radiation through four solar panels that drive the energy to a controller and then be stored by two (2) batteries attached to the system, in search of its use in places of difficult access and where there are no electricity services or water suitable for human consumption.

The evaluation of the efficiency of the equipment was determined by the treatment of three water samples collected from the Magdalena River, exactly at the points of the Girardot jetty, in the Zumbambicos vereda and in the Barrialosa vereda, taking an amount of approximately 60 liters at each point. The parameters considered for the characterization of the samples include physico-chemical (true color, turbidity, total solids, chlorides, total iron and manganese) and microbiological (total and fecal coliforms) analyzes. Samples were taken every 45 minutes starting at minute 0 until the 135-minute recirculation was completed.

In the results obtained with the execution of the treatment for physical parameters such as turbidity and total solids achieved efficiencies in excess of 50% in the removal of suspended and

dissolved particles, in terms of chemical parameters, Total iron reached a maximum value of 29 mg/L and removal efficiencies of up to 85.83%. On the other hand, heavy metals were not detected due to their minimal presence in the medium, finally, total and fecal coliforms presented efficiencies lower than expected.

In the process it was evident in the physical parameters evaluated that the time in which the greatest removal occurred in their concentrations was in the first 45 minutes, attributed to the fact that at the beginning of the treatment there was greater availability of dissolved and suspended substances in the medium, reducing part of the microorganisms attached to the particles.

Keywords: Magdalena River, efficiency, wastewater, physicochemical and microbiological parameters.

Introducción

El agua es un recurso natural renovable fundamental para el sostenimiento biológico y ambiental, que posee características únicas esenciales para la vida existiendo de forma abundante en la tierra en las tres fases de la materia comprendidas en un ciclo constante. Constituye aproximadamente el 75% de la superficie terrestre de la que solo el 2.5% es agua dulce, siendo el 0.3% agua disponible para el abastecimiento humano, la cual debe contar con la calidad adecuada para brindar bienestar a la población y prosperidad económica promoviendo la salud y reducción de la pobreza. (ONU, 2017)

La hidrografía colombiana es una de las más extensas y nutridas de América latina, contando en la actualidad con el 5% del recurso hídrico del planeta (IDEAM, 2019). De igual forma, el país es catalogado entre los más favorecidos en oferta hídrica de agua dulce, albergando cinco macro cuencas que contribuyen a la disponibilidad de fuentes tanto subterráneas como superficiales con aportaciones del 30 y 70% respectivamente (Rojas J. , 2011). Del porcentaje mayoritario referente al agua dulce superficial, este se encuentra distribuidos principalmente en quebradas, lagos y ríos, que aportan a macro cuencas como la de Magdalena-Cauca, la cual es de gran representación al producir el 13.2 % de la oferta hídrica superficial del país, y que abastece a gran parte del sector productivo y a las poblaciones municipales allí establecidas (MinAmbiente, 2017)

El Río Magdalena es uno de los más importantes de Colombia, atraviesa el territorio de sur a norte a lo largo de 1612 kilómetros, en este recorrido surca por once de los treinta y dos departamentos, teniendo mayor influencia en la región Andina y Caribe (Instituto Humboldt, 2020). A su vez, el Río Magdalena está dividido en tres grandes cuencas: la cuenca alta que cuenta con una longitud de 565 km y abarca desde el nacimiento del río en el Páramo de las

Papas hasta el municipio de Honda, la cuenca media continua en honda y avanza 1100 km hasta llegar a El Banco (Magdalena), y por último la cuenca baja que tiene una longitud aproximada de 428 km y tiene inicio en El Banco hasta la desembocadura del río en Bocas de Ceniza (CORMAGDALENA, 2013). Además, el Río Magdalena baña a quinientos noventa y seis municipios a lo largo del cauce principal, comprendiendo el 49% de la población del país que depende de la cantidad y calidad del recurso (Procuraduría General de la Nación, 2013).

La calidad hídrica en la cuenca alta del Río Magdalena, en su llegada al municipio de Girardot, presenta un notable decrecimiento debido a las elevadas descargas de contaminantes por parte del Río Bogotá, en el cual se reportan 640 vertimientos que en su mayoría son de origen industrial y de alcantarillados (Alcaldía de Bogotá, 2014), además de los aportes de las aguas residuales de los municipios de Girardot y Flandes, que al verter sus aguas sin previo tratamiento incurren en el aumento de material orgánico, sólidos y patógenos (CAR, 2010).

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, se considera evaluar la eficiencia de un equipo portátil alimentado por energía fotovoltaica y compuesto por una etapa de filtración a base de arena y carbón activado y una etapa de desinfección con luz ultravioleta, el cual fue diseñado y construido por la Universidad de Cundinamarca para el tratamiento de aguas superficiales contaminadas, buscando beneficiar la población vulnerable que reside en lugares de difícil acceso y con ausencia de los servicios básicos de agua potable y energía eléctrica (Suárez, 2019). Con el fin de depurar las muestras de agua obtenidas de la cuenca alta del Río Magdalena por medio de la recirculación continua a diferentes tiempos y así determinar su eficiencia, analizando el cambio en la calidad del agua y comparando sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes y después del tratamiento con el fin de establecer su uso acorde a la caracterización final.

Planteamiento del problema

En Colombia, la contaminación hídrica es producida principalmente por las aguas de origen doméstico e industrial que son vertidas de manera directa sobre el sistema fluvial, debido a que, tan solo el 48.2% de los municipios cuentan con plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) y cerca del 29% de estos realizan tratamientos primarios insuficientes para remover el total de la carga contaminante (Gómez, 2019). Dicha problemática supone la alteración de parámetros esenciales como los establecidos por el Índice de Calidad del Agua (ICA), el cual se emplea para medir los cambios en la calidad del agua y así determinar el estado del recurso (CAR, 2017).

Lo anterior conlleva a una serie de problemáticas de tipo ambiental y social reflejadas en la alteración de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de cuerpos hídricos causando efectos negativos en el estado del ecosistema y su biota, por ejemplo, si el oxígeno disuelto disminuye, aumenta la mortalidad en especies acuáticas (Durán L. E., 2016), lo que puede repercutir en actividades económicas como la pesca. De la misma forma, las poblaciones que consumen el recurso sin tratar son susceptibles a desarrollar enfermedades de tipo gastrointestinal que pueden ser consideradas como problemas de salud pública, entre las más comunes: diarrea, colera y disentería (Hernandez Cortez, Castro Escarpulli, & Aguilera Arreola, 2011).

En la actualidad el acceso al agua potable no tiene cobertura total en el territorio nacional, según cifras del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, 3.8 millones de personas consumen agua no potable (Departamento Nacional de Planeación, 2018). Es importante mencionar que la mayoría de las comunidades que no cuentan con el servicio de agua potable se encuentran establecidas en áreas rurales, con infraestructura insipiente de conducción que dificulta llevar el servicio a estas zonas. Sumado a esto, el 16.6% de la población rural colombiana no cuenta con

servicio de energía eléctrica, debido a factores como la baja densidad poblacional, la lejana ubicación a los centros urbanos y el difícil acceso a estos lugares (Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2020).

Teniendo en cuenta la situación de vulnerabilidad en la que se encuentra parte de la población rural colombiana por la ausencia de los servicios básicos mencionados, surge la presente propuesta de trabajo de investigación que consiste principalmente en el uso de un dispositivo portátil energéticamente autosostenible para el tratamiento de aguas superficiales con elevadas cargas contaminantes, para el caso de la cuenca alta del Río Magdalena, con el fin de determinar su eficiencia visando responder la siguiente pregunta problema:

¿Es posible mejorar la calidad del agua en la cuenca alta del Río Magdalena haciendo uso de un dispositivo energéticamente autosostenible que se constituye por un lecho filtrante y luz ultravioleta?

Justificación

La Constitución Política de Colombia define al agua potable como una necesidad básica que debe ser suplida para todos dentro del territorio nacional, ya que es un recurso fundamental para la vida que debe contar con la calidad necesaria para proporcionar bienestar a la población (Republica de Colombia, 1991). Además, la política nacional para la gestión del recurso hídrico establece como objetivo “mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico”, para promover el uso sostenible del agua y favorecer al mejoramiento de la calidad de vida de las personas (Viceministerio de Ambiente, 2010), reduciendo así, los índices de pobreza y desigualdad de la población colombiana.

De forma que, el tratamiento de aguas contaminadas es una estrategia viable para garantizar el suministro de agua en las poblaciones del territorio nacional, siendo necesario implementar técnicas eficientes de depuración con el motivo de devolver la calidad al recurso. Por tal razón, la aplicación de técnicas combinadas de filtración con materiales absorbentes y desinfección por medio de luz ultravioleta puede contribuir al mejoramiento de la calidad del agua.

Por consiguiente, en este estudio se plantea hacer uso de las técnicas mencionadas anteriormente con el fin de depurar muestras de agua obtenidas de la cuenca alta del Río Magdalena, para establecer la eficiencia del equipo y su viabilidad a ser implementado en poblaciones rurales establecidas en lugares de difícil acceso que no cuentan con el recurso en las condiciones deseadas.

Objetivos

Objetivo general

Determinar la eficiencia de un dispositivo portátil en el tratamiento de aguas superficiales de la cuenca alta del Río Magdalena.

Objetivos específicos

1. Establecer el potencial del lecho filtrante en la retención de contaminantes, orgánicos e inorgánicos en aguas del Río Magdalena.
2. Establecer la eficiencia de desinfección de la unidad de radiación ultravioleta en la remoción de coliformes totales y fecales.
3. Desarrollar una estrategia para la socialización de la caracterización y tratamiento del agua del Río Magdalena a los habitantes de la vereda Zumbambicos.

Marco referencial

Marco teórico

Contaminación del Río Magdalena.

El río Magdalena se destaca por ser una importante fuente hídrica de Colombia, albergando 514 municipios en las inmediaciones de su cauce. Sumado a esto, su cuenca genera el 80% del producto interno bruto (PIB), 70% de la producción agrícola y el 50% de la pesca de agua dulce en el país (Becerra, 2015). No obstante, la obtención de sus servicios ecosistémicos se puede ver reducida debido a los altos niveles de contaminación provenientes de aguas domésticas, actividad minera y de vertimientos industriales y agroindustriales, teniendo en cuenta que el 57% de los municipios no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales (Instituto Humboldt, 2020). La mayor parte de contaminación es ocasionada por los departamentos de Cundinamarca y del Tolima, en donde aproximadamente el 82% de sus suelos son usados con fines agrícolas, adicional a esto, tributarios como el Río Bogotá, el cual es uno de los ríos más contaminados del mundo, vierte cerca de 39 m³/s sobre el río Magdalena (Ortegon Torres, Ordoñez Osorio, Hena Murillo, Guio Duque, & Pelaez Jaramillo, 2015)

Gran parte de las sustancias encontradas en las aguas vertidas sobre el Río Magdalena corresponden a plaguicidas y metales pesados, que son altamente tóxicos, persistentes y resistentes a la biodegradación, así como también la presencia de coliformes fecales determinantes en la disminución de la calidad del agua (Instituto Humboldt, 2020), generando posibles efectos negativos sobre diversos componentes ambientales y sobre la salud humana, bien sea en forma directa o indirecta (Nabeela, y otros, 2014).

Efectos de la contaminación hídrica

Ciertos contaminantes persistentes como los plaguicidas y metales pesados liberados a cursos hídricos pueden llegar al ser humano directamente en el agua potable y/o de forma indirecta a través de la cadena trófica, y debido a su difícil biodegradabilidad se bioacumulan y biomagnifican (Olea & Fernandez, 2001), hasta alcanzar niveles de alta peligrosidad, ya que la exposición a elevadas concentraciones de estas sustancias pueden generar trastornos en el sistema inmunológico y nervioso de los seres vivos (Plenge Tellechea, Sierra Fonseca, & Castillo Sosa, 2007). Por otro lado, los coliformes fecales formados en un 95% por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*, que están presentes en las heces de animales endotérmicos (Instituto Humboldt, 2020), pueden ocasionar la enfermedad diarreica aguda (EDA), la cual fue reportada en 628026 casos en Colombia para el año 2019 (Instituto Nacional de Salud, 2020)

Calidad de aguas superficiales

La contaminación hídrica es el grado de alteración en el cambio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los cuerpos de aguas superficiales impulsando a su progresivo deterioro, lo que implica tomar medidas que controlen y mitiguen el nivel del riesgo al que está sometido el ser humano al momento de su aprovechamiento para suplir sus necesidades básicas. Para determinar la calidad del recurso se debe realizar una caracterización contemplando las variables físicas, químicas y microbiológicas que pueden ser evaluadas de manera individual o grupal según lo requiera el caso de estudio (Samboni Ruiz, Carvajal Escobar, & Escibar, 2007). La calidad del agua superficial ha disminuido principalmente por los vertimientos de aguas residuales producto de la actividad humana (Durán L. G., 2016), haciendo necesario la implementación de tratamientos complejos y de elevados costos para restablecer su calidad (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

Sistemas de tratamiento

Estimaciones hechas por las naciones unidas indican que para el año 2050 la población mundial aumente 2000 millones (ONU, 2019). Colombia por su lado, tendrá una población de 61.9 millones de habitantes, en otros términos, 20% más que la actual (DANE, 2020). El aumento de la población significa el incremento en la demanda del recurso hídrico, el cual debe contar con la calidad apropiada para no ocasionar riesgos sobre la salud humana.

Para esto se han desarrollados, diferentes sistemas convencionales de tratamiento que eliminan la carga de contaminantes que posee el agua al ser captada de las fuentes superficiales. Estos sistemas cuentan con diferentes procesos unitarios que al ser acoplados representan mayores eficiencias en el tratamiento; inicialmente se realiza la etapa de cribado, que tiene como finalidad remover sólidos de mayor tamaño por medio de rejillas; posteriormente se aplica la coagulación y floculación que consiste en la adición de coagulantes para desestabilizar partículas coloidales que a través de un mezclado lento favorece la aglomeración y precipitación de los flóculos. Seguido a esto se efectúa el proceso de filtración mediante un lecho poroso que retiene partículas inferiores a 1 mm y microorganismos, para finalmente destruir a los microorganismos potencialmente peligrosos a través de la desinfección con cloro en estado líquido o gaseoso (Chulluncuy Camacho, 2011).

No obstante, la aplicación de tratamientos convencionales no resultan del todo eficiente debido a que las fuentes superficiales están siendo contaminadas progresivamente, por lo que se hace necesario diseñar, fabricar y emplear herramientas que favorezcan a la disminución de contaminantes en fase acuosa de manera sostenible. Los sistemas combinados de filtración con arena y carbón activado acoplado a una unidad de desinfección por luz ultravioleta es un tratamiento viable para obtener agua de mejor calidad, puesto que en el proceso de filtración los

materiales porosos tienen la capacidad de retener contaminantes orgánicos y cloro libre residual presentes en la solución (Chipiele, 2017) y, la desinfección con luz ultravioleta consiste en la exposición del agua con radiación UV con el fin de inactivar los microorganismos (Bes Monge, Silva, & Bengoa, 2018), basada en una reacción fotoquímica a nivel molecular que cambia la estructura de su material genético (Millán Villarroel, Romero González, Brito, & Ramos Villarroel, 2015).

Reúso de aguas tratadas

El restringido acceso al recurso hídrico merece la imperativa necesidad de reusar las aguas residuales tratadas para atender la escasez de agua limpia en zonas donde hay mayor estrés hídrico (Alvarez Pinzón, 20017), pudiendo representar potenciales usos en actividades que no requieran de su alta calidad para su aprovechamiento y a su vez reducir la extracción de agua dulce (Suárez Pulido, 2019). Para ello, los gobiernos deben plantear mecanismos para el uso eficiente de las aguas residuales tratadas para atender la demanda hídrica de la población. En Colombia, se enmarca en la Resolución 1207 de 2014 las disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas, donde se relacionan parámetros de calidad y su posible empleo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

Difusión del conocimiento

La búsqueda de la sociedad del conocimiento procura por la socialización de las experiencias obtenidas por la ciencia con el fin de que la sociedad logre su comprensión de modo que se adapten a las condiciones cambiantes del entorno (Agudelo, 2012). Los procesos investigativos se deben difundir para comunicar sus logros y resultados obtenidos con el objetivo de que la comunidad en función de sus necesidades tenga la capacidad de discutir, aprovechar y apropiarse

del conocimiento generado (Alarcón, 2019). En un panorama nacional se debe aprovechar la difusión del conocimiento para reconocer la importancia del agua como un recurso vital para el ser humano y el funcionamiento ambiental, direccionado hacia la concientización de la sociedad para el uso responsable del recurso (UNIANDÉS, 2019).

Marco legal

La normatividad colombiana asociada al presente estudio, comprende los parámetros de calidad para agua potable, los valores límites máximos para contaminantes de las aguas servidas y el ordenamiento para el uso eficiente del recurso (tabla 1). Asimismo, las necesidades de poblaciones que no cuentan con el recurso energético inducen al cumplimiento de la legislación nacional referente al uso de energías renovables (tabla 2).

Tabla 1. *Normatividad referente al recurso hídrico para el caso de estudio.*

Normatividad del recurso hídrico	
Decreto 3930 de 2010	Establece las disposiciones relacionadas con los posibles usos del recurso hídrico de acuerdo con sus características físicas, químicas y biológicas.
Resolución 0631 de 2015	Se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimiento a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado.
Resolución 2115 de 2007	Se señalan los valores máximos aceptables de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.
Resolución 1207 de 2014	Se determinan disposiciones relacionadas con el uso del agua residual tratada.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. *Normatividad referente para energías no convencionales para el caso de estudio*

Normatividad para energías renovables	
Ley 1517 de 2014	Promueve el desarrollo y uso de energías no convencionales en el sistema energético nacional para el beneficio de las zonas no interconectadas.

Fuente: Elaboración propia

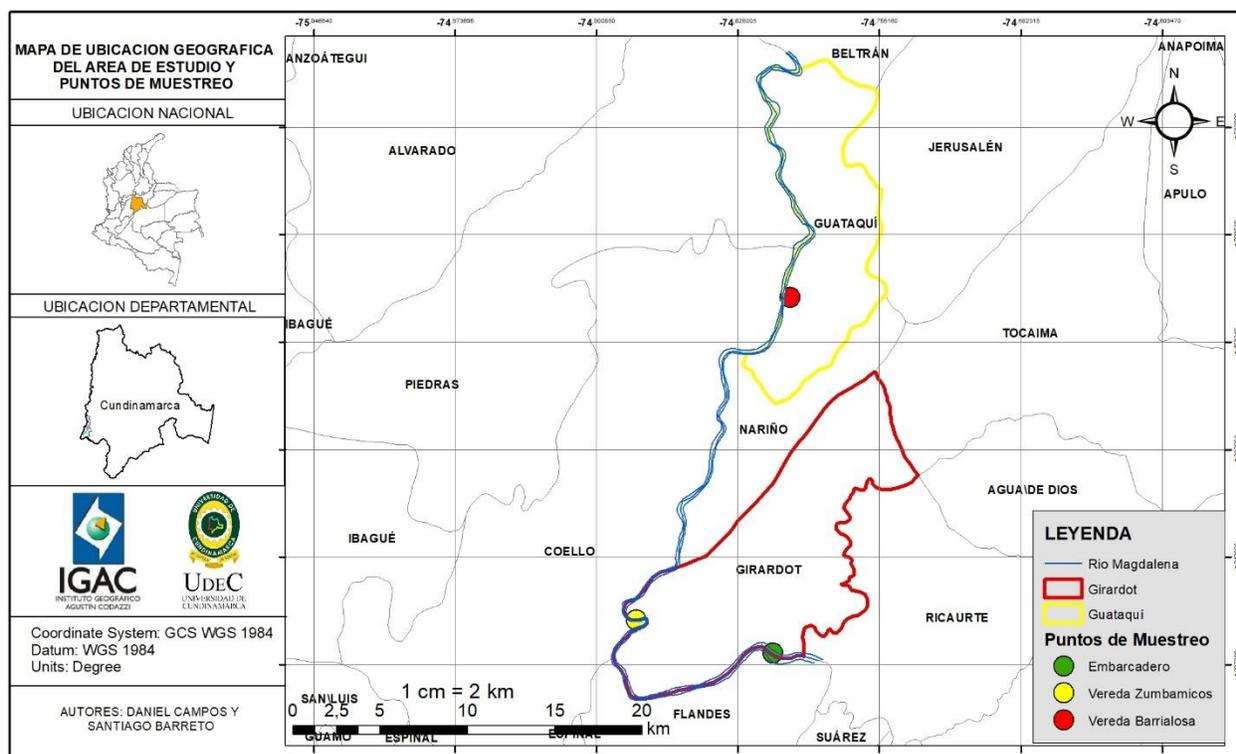
Diseño metodológico

Ubicación geográfica y características de la zona de estudio

El área de estudio del presente proyecto se encuentra ubicada en la provincia del Alto Magdalena, en los municipios de Girardot y Guataquí (figura 1). El primero cuenta con un área de 130 km² y una población aproximada de 107000 habitantes (Departamento Nacional de Planeación, 2018). En cuanto al municipio de Guataquí, posee un área de 89 km² y una población para el año 2020 de 2733 personas (DANE, 2011). Además, la provincia cuenta con una temperatura promedio de 23 a 35 °C (Cundinamarca, 2015).

Figura 1.

Mapa de la ubicación geográfica del área de estudio y puntos de muestreo



Fuente: Elaboración propia mediante el Software ArcGIS 10.5 de ESRI y Google Earth Pro

Puntos de muestreo

Para el presente estudio serán seleccionados tres puntos de muestreo a lo largo del Río Magdalena, ubicados en los municipios de Girardot y Guataquí (tabla 3). El primer punto de muestreo se encuentra en el embarcadero de la ciudad de Girardot considerándose pertinente debido a la influencia de la desembocadura del Río Bogotá y la presencia de vertimientos de agua residual de la ciudad Girardot, el segundo punto se ubica en la vereda Zumbambicos perteneciente al municipio de Girardot, y el tercero en la vereda Barrialosa del municipio de Guataquí. Los últimos dos puntos se contemplan importantes ya que las comunidades que allí se establecen dependen en gran parte del Río Magdalena, que brinda distintos servicios ecosistémicos a la población.

Tabla 3. *Ubicación de los puntos de muestreo cuenca alta del Río Magdalena.*

Punto de muestreo	Sistema de coordenadas		Registro fotográfico
Embarcadero de Girardot	Coordenadas Planas (Magna Sirgas / Origen Bogotá Zone)		
	ESTE	NORTE	
	918667,8193	966540,3123	
	Coordenadas geográficas		
	X	Y	
	74°48'36.54"O	4°17'35.76"N	
Vereda Zumbanicos	Coordenadas Planas (Magna Sirgas / Origen Bogotá Zone)		
	ESTE	NORTE	
	910877,8576	968413,699	
	Coordenadas geográficas		
	X	Y	
	74°52'49.21"O	4°18'36.49"N	
Vereda Barrialosa	Coordenadas Planas (Magna Sirgas / Origen Bogotá Zone)		
	ESTE	NORTE	
	919672,0158	986784,4003	
	Coordenadas geográficas		
	X	Y	
	74°48'4.61"O	4°28'34.80"N	

Fuente: Elaboración propia

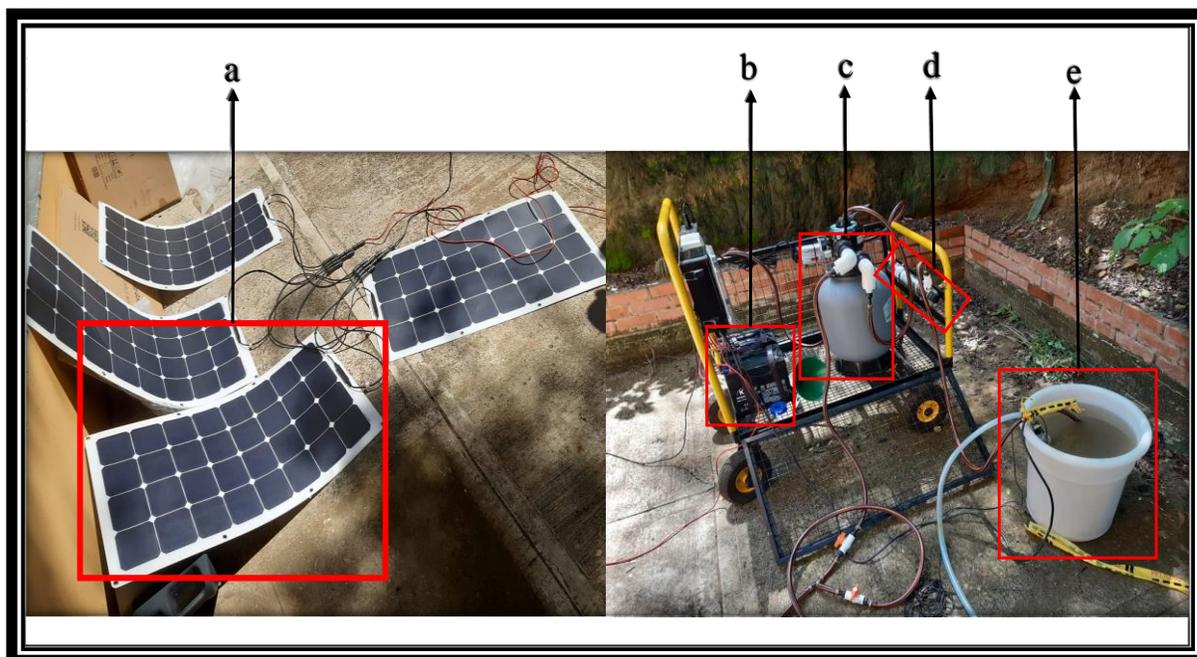
Equipo de tratamiento

El dispositivo portátil (figura 2), usa como fuente de energía la radiación solar por medio de cuatro paneles solares que brinda la energía requerida para el funcionamiento de una bomba que se encuentra sumergida en el tanque que almacena las muestras de agua, direccionándolas a las dos unidades de tratamiento constituidas por un filtro compuesto de arena y carbón activado que actúa como pretratamiento de la siguiente unidad referente al sistema de desinfección a través de

una lampara ultravioleta que emite radiación UV de 30 mJ/cm^2 y longitud de onda de 254 nm . Una vez el agua pasa por todo el sistema vuela a ser recirculada para lograr mejores eficiencias en la remoción de contaminantes.

Figura 2.

Equipo de tratamiento



Fuente: Elaboración propia

a. paneles solares; b. baterías de almacenamiento; c. lecho filtro; d. lámpara de radiación UV; e. tanque de almacenamiento.

Metodología de tratamiento

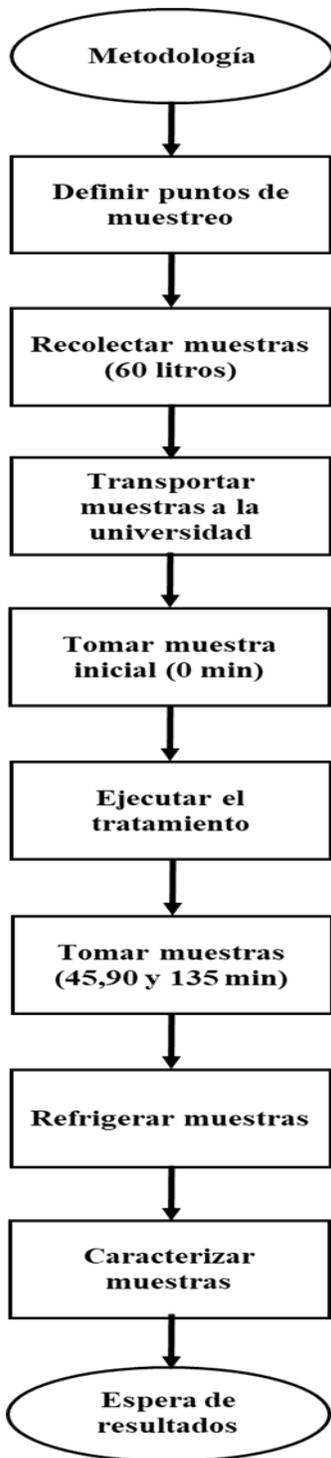
Las muestras se coleccionarán con volúmenes de aproximadamente 60 litros para cada uno de los puntos establecidos sobre el Río Magdalena entre los municipios de Girardot y Guataquí. Luego se transportarán al laboratorio de la Universidad de Cundinamarca, seccional Girardot para realizar el tratamiento haciendo uso del equipo. Se tomarán muestras cada 45 minutos de recirculación las cuales se conservarán refrigeradas en condiciones adecuadas para su posterior caracterización por parte del laboratorio MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S quienes

realizarán el análisis de las muestras de agua. Los parámetros considerados para la caracterización de las muestras comprenden análisis fisicoquímicos (color verdadero, turbiedad, sólidos totales, cloruros, hierro total y manganeso) y microbiológicos (coliformes totales y fecales), siguiendo la metodología expuesta en el Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23rd Edition 2017 APHA, AWWA, WEF. Para el análisis de resultados se evaluará la eficiencia del equipo en el tratamiento de aguas superficiales durante la depuración de las muestras obtenidas, calculando el porcentaje de variación de los parámetros estudiados.

Figura 3.

Metodología para el tratamiento de las muestras obtenidas de la cuenca alta del Río

Magdalena



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. *Plan de trabajo para la toma de muestras y análisis de laboratorio correspondiente*

Muestra	Punto de Muestreo	Nomenclatura	Muestreo	Análisis
1	Embarcadero Girardot	Emb-0	Rio	Total (Fisicoquímico y microbiológico)
2		Emb-45	UdeC-Girardot	Fisicoquímico
3		Emb-90	UdeC-Girardot	Fisicoquímico
4		Emb-135	UdeC-Girardot	Total (Fisicoquímico y microbiológico)
5	Vereda Zumbamicos	Zum-0	Rio	Total (Fisicoquímico y microbiológico)
6		Zum-45	UdeC-Girardot	Fisicoquímico
7		Zum-90	UdeC-Girardot	Fisicoquímico
8		Zum-135	UdeC-Girardot	Total (Fisicoquímico y microbiológico)
9	Vereda Barrialosa	Bar-0	Rio	Total (Fisicoquímico y microbiológico)
10		Bar-45	UdeC-Girardot	Fisicoquímico
11		Bar-90	UdeC-Girardot	Fisicoquímico
12		Bar-135	UdeC-Girardot	Total (Fisicoquímico y microbiológico)

Fuente: Elaboración propia

Socialización a la comunidad

Los productos obtenidos en la presente investigación serán divulgados a la comunidad de la vereda Zumbamicos mediante charlas y la entrega de folletos (Anexo 1), exponiendo a través de la evidencia el estado de la calidad del agua del Río Magdalena y la eficiencia del tratamiento realizado por el dispositivo utilizado en el proyecto, considerando que esta población se encuentra aledaña a uno de los puntos de muestro y dependen de la calidad del agua del Río Magdalena ya que su sistema de acueducto capta el recurso directamente de este afluente.

Resultados y discusión

Parámetros evaluados

A continuación, se presentan en la tabla 5 los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, unidades de medida, técnicas analíticas a emplear y el procedimiento utilizado según el manual Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater 23rd Edition, para las muestras obtenidas de los puntos determinados de la cuenca alta del Río Magdalena.

Tabla 5. *Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados por MCS CONSULTORÍA Y MONITOREO AMBIENTAL S.A.S*

Parámetros	Unidades	Técnica analítica	Método
Color verdadero	UPC	ESPECTROFOTOMÉTRICO - LONGITUD DE ONDA SIMPLE	SM 2120 C
Turbiedad	NTU	NEFELOMÉTRICO	SM 2130 B
Sólidos totales	mg/L	SECADO A 103 - 105 °C	SM 2540 B
Cloruros	mg Cl-/L	ARGENTOMÉTRICO	SM 4500 CL - B
Sulfatos	mg SO ₄ -2/L	TURBIDIMÉTRICO	SM 4500-SO ₄ E
Hierro total	mg Fe/L	E.A.A.	SM 3030 E, SM 3111 B
Manganeso	mg Mn/L	E.A.A.	SM 3030 E, SM 3111 B
Zinc	mg Zn/L	E.A.A.	SM 3030 E, SM 3111 B
Cadmio	mg Cd/L	E.A.A.	SM 3030 E, SM 3111 B
Cobre	mg Cu/L	E.A.A.	SM 3030 E, SM 3111 B
Cromo total	mg Cr/L	E.A.A.	SM 3030 E, SM 3111 B
Mercurio	mg Hg/L	E.A.A. - VAPOR FRIO	SM 3112 B
Níquel	mg Ni/L	E.A.A.	SM 3030 E, SM 3111 B
Plomo	mg Pb/L	E.A.A.	SM 3030 E, SM 3111 B
Coliformes totales	NMP/100mL	SUSTRATO ENZIMÁTICO	SM 9223 B
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	SUSTRATO ENZIMÁTICO	SM 9223 B

Fuente: Elaboración propia.

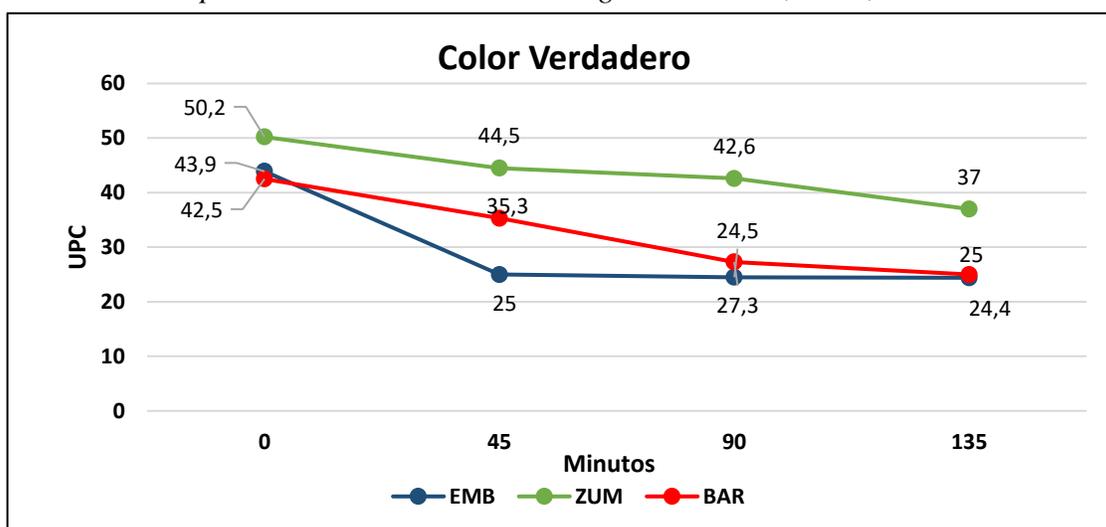
Parámetros físicos

Color verdadero

El color verdadero es un parámetro físico asociado a los compuestos disueltos en el agua, que principalmente derivan de la materia orgánica en descomposición y minerales de hierro y manganeso. Para establecer la medición en concentración de las UPC (Unidades Platino-Cobalto) en este parámetro, se deben filtrar las muestras por membranas de 0,45 micrómetros con el fin de eliminar partículas suspendidas (Rojas J. A., 2002). El comportamiento del color verdadero (figura 4) presentó variaciones de acuerdo al tiempo de tratamiento, en la muestra obtenida en el embarcadero (EMB) inicialmente contó con un valor de 43,9 UPC y al finalizar el tratamiento este valor se redujo hasta 24,4 UPC, para la muestra de la Vereda Zumbamicos (ZUM) a tiempo 0 se presentó un valor de 50,2 UPC disminuyendo en el tiempo 135 minutos a 37 UPC, finalmente la muestra obtenida en la vereda Barrialosa (BAR) arrojó como resultados valores de 42,5 y 25 UPC para tiempo inicial y final respectivamente.

Figura 4.

Color verdadero para la cuenca alta del Río Magdalena: EMB, ZUM, BAR



Fuente: Elaboración propia

El valor inicial más alto de color verdadero fue registrado en la muestra de la vereda Zumbamicos, posiblemente atribuida por la desembocadura del Río Coello, los meandros que aumentan la turbulencia en el lugar y los vertimientos poco controlados del agua residual del municipio de Girardot.

El comportamiento del color presentó una disminución para los tres puntos de muestreo, en EMB se obtuvo una eficiencia de remoción del 44,4%, en ZUM la eficiencia fue de 26,3% y en BAR se presentó una reducción del 41,2% respecto al valor inicial. Se atribuye la progresiva reducción en el color durante el tratamiento a la recirculación continua de las muestras, ya que permitió que la corriente de agua fuera interceptada en repetidas oportunidades por la unidad de filtrado del sistema, que está compuesto por arena y carbón activado el cual por su estructura porosa tiene la capacidad de retener diversos contaminantes disueltos en el agua (Valladares Cisneros, Valerio Cárdenas, de la Cruz Burelo, & Melgoza Alemán, 2016). Sin embargo, las eficiencias encontradas en el tratamiento arrojaron valores de UPC que no cumplen con los criterios de calidad establecidos por el decreto 1076 de 2015 ya que este exige un valor máximo permisible de 20 unidades de Platino-Cobalto.

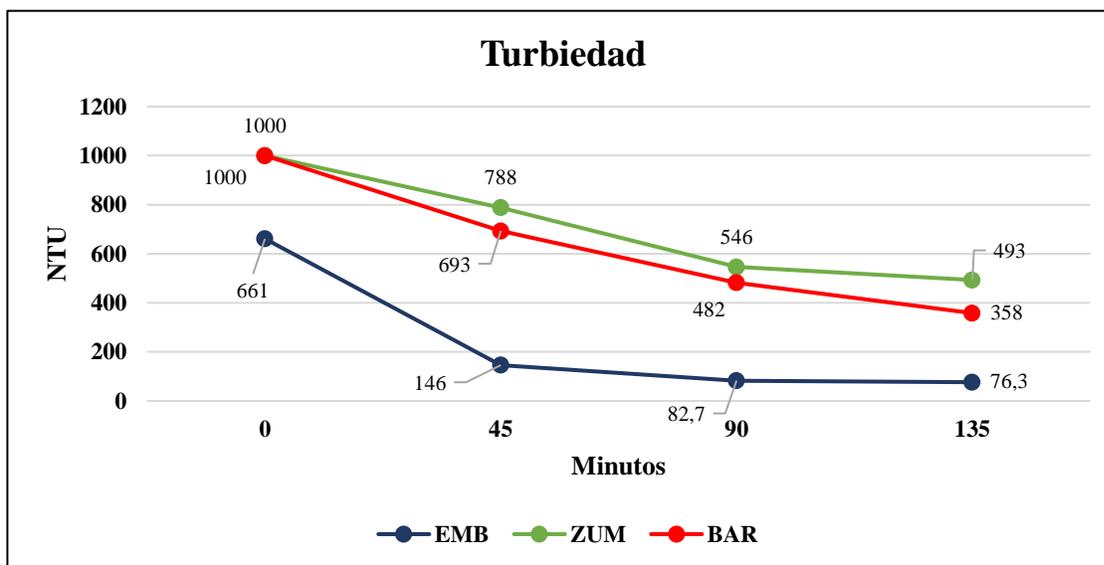
Turbiedad

La turbiedad en el agua está relacionada por la materia que se encuentra en suspensión como los sedimentos, el plancton, microorganismos, materia orgánica e inorgánica que causan la disminución en la transparencia del agua, cuanta más materia esté en suspensión mayor será la turbiedad (IDEAM, 2007). En la figura 5, se evidencia la notable disminución en la turbiedad posterior al tratamiento aplicado para los puntos de muestreo, presentando la reducción desde el minuto 0 hasta el minuto 135 con valores para el EMB de 661 a 76,3 NTU, para la muestra en

ZUM los valores obtenidos fueron mayores a 1000 y 493 NTU, y en la parte baja del muestreo se presentaron valores mayores a 1000 y 358 NTU.

Figura 5.

Turbiedad cuenca alta del Río Magdalena: EMB, ZUM, BAR



Fuente: Elaboración propia

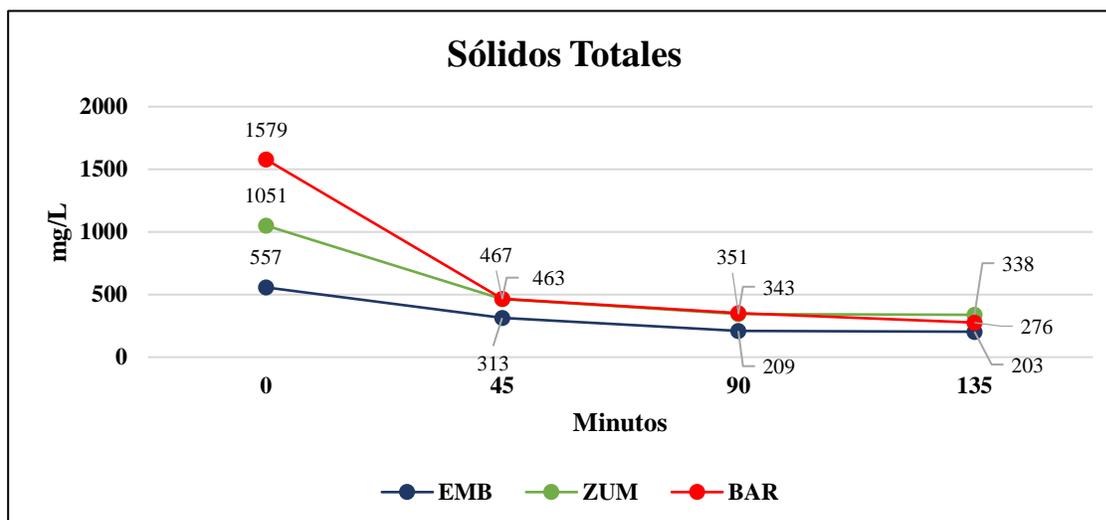
En cuanto a las eficiencias obtenidas mediante la aplicación del sistema de tratamiento, este parámetro indicó una reducción del 88,5% para el punto de muestreo EMB demostrando la mayor eficiencia en los 45 minutos iniciales; para ZUM la disminución fue de 50,7% y para BAR de 64,2%. Estas eficiencias son atribuidas a la recirculación continua a través del lecho filtrante, siendo mayores que las de color verdadero ya que la turbiedad está condicionada por partículas de mayor tamaño que se encuentran insolubles en el agua permitiendo una mayor retención por el lecho poroso. Este parámetro pudo haber presentado alteraciones porque el muestreo se realizó en época de lluvia por lo que el Río presentó en su cauce gran turbulencia lo que arrastró sedimentos.

Sólidos totales

Los sólidos totales son materiales que se encuentran suspendidos y disueltos en el agua y su concentración puede variar según las características del curso hídrico, de la época del año, vertimientos, etc. y se determinan como la materia que permanece después de evaporar la muestra a 103 – 105 °C (IDEAM, 2007). La variación de sólidos totales (figura 6), fue la siguiente para las muestras tratadas de agua superficial: inicialmente EMB contó con 557 mg/L de sólidos y al finalizar el tratamiento fueron removidos 354 mg/L lo que indica una eficiencia de 63,5%, por su lado, en el punto ZUM en tiempo 0 la concentración de sólidos fue de 1051 mg/L y al cabo de los 135 minutos fue de 338 mg/L dando como resultado una eficiencia de 67,8%, y por último, la muestra obtenida en BAR contó con la mayor concentración de sólidos totales de los tres puntos monitoreados, siendo ésta de 1579 mg/L y al finalizar el tratamiento se redujo a 276 mg/L representando una eficiencia del 82,5% , indicando la mayor reducción (1112 mg/L) en los primeros 45 minutos de tratamiento.

Figura 6.

Sólidos totales cuenca alta del Río Magdalena: EMB, ZUM, BAR



Fuente: Elaboración propia

Los municipios de Girardot, Nariño y Guataquí cuentan con un alto grado de erosión del suelo, pues según cifras reportadas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca alcanzan porcentajes de erosión de 72, 94 y 53% de acuerdo a la extensión total respectivamente (Corporación Autonomía Regional de Cundinamarca, sf). Por lo tanto, este factor puede influir en la variación de los parámetros físicos debido al aumento de sedimentos que por procesos de escorrentía son depositados en el Río Magdalena.

Parámetros químicos

Cloruros

Los cloruros se encuentran de forma natural solubles en el agua asociados a un metal que generalmente puede ser el sodio o el potasio, y en las aguas superficiales sus concentraciones normales oscilan entre 1 a 100 mg/L (Beita Sandí & Barahona Palomo, 2010).

Para las muestras tratadas las concentraciones iniciales para este parámetro en EMB fueron de 6,11 mg/L mientras que para ZUM y BAR este parámetro no fue detectado por el método empleado. En el transcurso del tratamiento los cloruros incrementaron su concentración indicando la posible influencia del carbón activado, puesto que, este en su activación requiere el uso de sustancias químicas como el cloruro de zinc (Grisales Motato & Rojas Arrieta, 2016), que residualmente pudo aumentar la concentración de cloruros en el medio de forma progresiva debido a la recirculación continua. Considerando que las muestras fueron tratadas en el siguiente orden: EMB-BAR-ZUM, se presentó una tendencia de disminución en las concentraciones finales de cloruro respecto al orden de tratamiento, debido a que el flujo del agua arrastró los iones presentes en el filtro (tabla 6).

Tabla 6. *Cloruros cuenca alta del Río Magdalena: EMB, ZUM, BAR*

Cloruros mg Cl-/L			
Tiempo	EMB	BAR	ZUM
0	6,11	<4,00	<4,00
45	24,1	14,6	7,53
90	29,9	15	7,88
135	30,7	15,1	7,93

Fuente: Elaboración propia

Según Ospina, la variación climática influye sobre la concentración de cloruros en el agua del Río Magdalena, pues su estudio realizado en el 2015, en presencia del fenómeno El Niño, indicó valores superiores de cloruros entre el rango de 7,15 a 16,40 mg/L en comparación a los encontrados inicialmente en el presente estudio (Ospina Zúñiga, Ochoa Olaya, & Vélez Ramirez, 2017).

Hierro

El hierro es el cuarto elemento químico más abundante en la corteza terrestre y constituyente normal del ser humano, generalmente sus sales no son tóxicas en las cantidades regularmente encontradas, sin embargo, su presencia en el recurso hídrico puede provenir de vertimientos de tipo industrial o del uso agropecuario la cual es una actividad propia de la zona, llegando a afectar su sabor, color y turbiedad, además de causar obstrucciones al depositarse en las redes de distribución (Burbano, 2011).

En la tabla 7, se muestran los resultados obtenidos para este metal en los tres puntos de muestreo, en EMB las concentraciones oscilaron entre 0,572 y 0,222 mg/L demostrando una eficiencia de remoción de 61,18%, por su lado ZUM y BAR mostraron concentraciones iniciales superiores de 16 y 29 mg/L respectivamente, alcanzando eficiencias de 45,31 y 85,8%. Las

eficiencias obtenidas se deben al flujo de las muestras por el sistema de filtrado ya que este retuvo gran parte de hierro. Es posible que la muestra tratada de BAR haya presentado la mayor eficiencia en el tratamiento ya que inicialmente el hierro para este punto de muestreo se encontró en mayor disponibilidad en el medio lo que favoreció su retención en el lecho filtrante.

Tabla 7. Hierro cuenca alta del Río Magdalena: EMB, ZUM, BAR

Hierro				
Parámetro	Unidad	Punto de muestreo	Min 0	Min 135
Hierro total	mg Fe/L	EMB	0,572	0,222
		ZUM	16	8,75
		BAR	29	4,11

Fuente: Elaboración propia.

Manganeso

El manganeso es un elemento químico comúnmente encontrado en el agua en bajas concentraciones. En los análisis de laboratorio no fue detectado debido a que su concentración está por debajo del límite de detección de la técnica analítica (menor a 0,12 mg Mn/L), a excepción de ZUM a tiempo 0 que presentó una concentración de 0,29 mg/L y a tiempo 135 la concentración se redujo a 0,204 mg/L presentando una eficiencia de remoción del 29,6% y BAR que inicialmente contó con una concentración de 0,543 mg Mn/L.

Metales no detectados

En la tabla 8, se presentan los metales no detectados por las pruebas analíticas debido a que estuvieron por debajo del límite de detección para cada uno de ellos en la técnica utilizada. Considerando en la normativa legal vigente para agua potable, los niveles permisibles para metales como el Zinc, Cobre y Mercurio están por encima del límite de detección y no representarían un efecto adverso en la salud humana. Por otro lado, los metales como el Cadmio,

Cromo, Níquel y Plomo generan incertidumbre debido a que el límite de detección es superior al valor permisible imposibilitando establecer con certeza su concentración en el medio (MADS, MINSALUD, 2007).

Tabla 8. Metales no detectados en la cuenca alta del Río Magdalena: EMB, ZUM, BAR

Elemento químico	Unidades	Límite de detección	Valor permisible (Res 2115)
Zinc	mg Zn/L	0,12	3
Cadmio	mg Cd/L	0,01	0,003
Cobre	mg Cu/L	0,15	1
Cromo total	mg Cr/L	0,11	0,05
Mercurio	mg Hg/L	0,001	0,001
Níquel	mg Ni/L	0,15	0,02
Plomo	mg Pb/L	0,05	0,01

Fuente: Elaboración propia.

Parámetros microbiológicos

Coliformes totales y fecales

La materia orgánica, derivada de las aguas residuales municipales, plantas de procesamiento o sacrificio de animales y escorrentías agropecuarias figuran como las principales fuentes de coliformes totales en el agua, de los cuales un subgrupo corresponde a los coliformes fecales formados aproximadamente en el 95% de *Escherichia coli* y especies de *Klebsiella*; dichos microorganismos son propios de las heces de animales endotérmicos (Larrea Murrell, Rojas Badia, Romeu Álvarez, Rojas Hernandez, & Heyrich Pérez, 2013).

El Río Magdalena, en el tramo seleccionado para la toma de las muestras recibe altas descargas de contaminación de materia orgánica proveniente esencialmente de la desembocadura del Río Bogotá, aguas servidas de los municipios que no cuentan con sistemas de tratamiento o son deficientes y escorrentías de la actividad ganadera ya que es predominante en la región. Esto explica los altos niveles de coliformes totales y fecales en los puntos de muestreo seleccionado.

En la tabla 9, se presentan los valores iniciales y finales para coliformes totales y fecales obtenidos en el tratamiento, la eficiencia evidenciada para la eliminación de coliformes totales fueron de: 37,7% para EMB, 56,6% para ZUM y 50% para BAR. Con respecto a los coliformes fecales las eficiencias de eliminación fueron de: 15,7% para EMB, 20,5% para ZUM y 35,6% para BAR.

Tabla 9. *Coliformes fecales y totales cuenca alta del Río Magdalena: EMB, ZUM, BAR*

Parámetros microbiológicos				
Parámetro	Unidad	Punto de muestreo	Min 0	Min 135
Coliformes totales	NMP/100mL	EMB	1246	776
		ZUM	2489	1080
		BAR	2575	1287
Coliformes fecales	NMP/100mL	EMB	100,8	85
		ZUM	225	178,9
		BAR	205	132

Fuente: elaboración propia

La eliminación de los coliformes analizados se debe, por un lado, al efecto del sistema de filtrado que funciona como un mecanismo de interceptación de sólidos en suspensión, reduciendo con ello parte de los microorganismos adheridos a las partículas; adicionalmente la remoción se complementa con la unidad de desinfección por luz ultravioleta, debido a que la radiación UV tiene la capacidad de penetrar en la pared celular inhibiendo totalmente las funciones del microorganismo (Acosta Castellanos, Caro Camargo, & Perico Granados, 2015). No obstante, las eficiencias obtenidas no fueron las esperadas, probablemente este comportamiento está asociado con las partículas suspendidas en el agua, puesto que interrumpen la transferencia de la radiación hacia el microorganismo, indicando en términos generales que a mayor turbiedad menor será el efecto de inactivación con radiación UV siendo necesario

mayores tiempos de recirculación (Rossel Bernedo, Rossel Bernedo, Ferro, Ferro Gonzales, & Zapana Quispe, 2020).

Socialización a la comunidad

En la tabla 10, se muestra la cobertura de la socialización de los resultados obtenidos en la presente investigación, la divulgación se realizó con la comunidad de la vereda Zumbambicos donde fueron compartidas las experiencias mediante charlas puerta a puerta y la entrega de folletos (Anexo 2).

Tabla 10. *Cobertura de la socialización en la vereda Zumbambicos*

Socialización Vereda Zumbambicos	
Fecha	19/09/2021
Casas visitadas	17
Número de personas	30

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar, que durante la socialización realizada parte de la comunidad mostró interés en los productos del proyecto, debido a que son conscientes de la importancia del recurso hídrico para sus actividades diarias ya que el río representa una fuente de ingresos para algunos habitantes de la vereda.

Conclusiones

- Con la ejecución del presente trabajo de investigación se implementó la aplicación de un proceso que pudo mejorar las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de las muestras captadas de la cuenca alta del Río Magdalena.
- De acuerdo a la caracterización inicial, el punto de muestreo de BAR presentó la mayoría de parámetros con concentraciones más alta, esto no quiere decir que sea el punto más contaminado ya que es pertinente considerar el grado de importancia de cada uno de los parámetros evaluados.
- Se estableció que para los parámetros físicos (color verdadero, turbiedad y sólidos totales), el tiempo en los cuales presentaron la mayor remoción en sus concentraciones fue en los primeros 45 minutos, atribuyéndose que al inicio del tratamiento había mayor disponibilidad de sustancias disueltas y suspendidas en el medio.
- La temporada de lluvias en la región influyó sobre los parámetros físicos debido al aumento en la carga de sedimentos que por la acción de la escorrentía son descargados en el cuerpo hídrico.
- Considerando a la turbiedad y a los coliformes fecales como los parámetros de mayor grado de significancia para la evaluación de la calidad del agua según el índice de riesgo de calidad del agua potable, es importante reconocer que la muestra obtenida en la vereda Barrialosa presentó los valores más altos para estos parámetros.
- Se destaca que, en la caracterización de las muestras los metales pesados no fueron detectados ya que los valores obtenidos estuvieron por debajo de los límites de detección de la técnica empleada, lo que indica que sus concentraciones fueron mínimas o nulas al momento de analizarlas.

- Los altos valores para coliformes totales y fecales posiblemente se deben a la inadecuada gestión de las aguas residuales de los municipios cercanos al área de estudio, además de la influencia de la actividad ganadera que realiza en la zona.
- El equipo empleado para el tratamiento de las muestras se destaca por su versatilidad al poseer movilidad, ser independiente de la energía eléctrica y compacto, denotando facilidad de su manejo en el campo.
- En cuanto a la eficiencia lograda por el dispositivo, este se presenta como una alternativa para la descontaminación del agua, siempre y cuando la calidad del recurso a tratar no sea muy baja, pudiendo obtener efluentes con una calidad aceptable.
- La socialización del proyecto en la vereda Zumbamicos permitió la interacción con la comunidad para dar a conocer los productos de la investigación, así como también la calidad del agua superficial que es captada directamente para llevar a cabo diferentes procesos productivos en la vereda.

Recomendaciones

- Se recomienda aplicar en nuevos estudios el uso de coagulantes con antelación al filtrado, con el fin de disminuir las partículas suspendidas y así mejorar las eficiencias del equipo de tratamiento en la remoción de contaminantes.
- Se debe hacer el retrolavado del filtro periódicamente con la finalidad de eliminar contaminantes residuales que puedan saturar el lecho filtrante y disminuyan la eficiencia del proceso.
- Se recomienda proporcionar el uso apropiado al agua tratada de acuerdo a la resolución 1207 de 2014 que estipula los parámetros de calidad y sus valores permisibles para distintas actividades.
- Es necesario conocer la calidad del recurso en las captaciones directas sobre cuenca alta del Río Magdalena para la actividad piscícola y agropecuaria que allí se lleva a cabo, previniendo posibles repercusiones sobre la salud humana.
- Para posteriores estudios es pertinente tener en cuenta la temporada climática al momento de la recolección de las muestras ya que puede influir en la variación de los parámetros a evaluar, además de la incidencia solar que es requerida por el equipo para su funcionamiento en largos periodos de tratamiento.

Referencias

- Acosta Castellanos, P. M., Caro Camargo, C., & Perico Granados, N. R. (10 de octubre de 2015). *revistas.unbosque.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/1WNP1QX>
- Agudelo, S. A. (2012). *revistas.udea.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/4EleaJr>
- Alarcón, P. E. (2019). *redalyc.org*. Obtenido de <https://cutt.ly/NElrNmn>
- Alcaldía de Bogotá. (2014). *sdp.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/ZbyR6W8>
- Alvarez Pinzón, G. (20017). *bdigital.uexternado.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/YWIn3SI>
- Becerra, M. R. (Oct de 2015). *foronacionalambiental.org.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/7vIPPaB>
- Beita Sandí, W., & Barahona Palomo, M. (30 de Abril de 2010). *redalyc.org*. Obtenido de <https://cutt.ly/oWNHIUx>
- Bes Monge, S., Silva, A., & Bengoa, C. (2018). *Manual técnico sobre procesos de oxidacion avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales*. España: CYTED.
- Burbano, L. M. (2011). *bibliotecadigital.univalle.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/eW2O9z9>
- CAR. (2010). *Boletín de calidad de las cuencas de la jurisdiccion CAR*. Bogotá.
- CAR. (2017). *Boletín del indice de calidad el agua en corrientes superficiales "ICA" 2017-II*. Bogotá D.C.
- Chipiele, D. I. (2017). *core.ac.uk*. Obtenido de <https://cutt.ly/ubYnauH>
- Chulluncuy Camacho, N. C. (16 de junio de 2011). *redalyc.org*. Obtenido de <https://cutt.ly/LWEGigy>
- CORMAGDALENA. (25 de Jun de 2013). *cormagdalena.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/jbysWRf>

Corporación Autonomía Regional de Cundinamarca. (sf). *car.gov.co*. Obtenido de

<https://cutt.ly/KEfACRf>

Cundinamarca, C. d. (Dic de 2015). *contraloria.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/PbJBbZh>

DANE. (2011). *dane.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/gbJVzws>

DANE. (2020). *Mejoras en retroproyecciones de población con base en el CNPV 2018*.

Departamento Nacional de Planeación. (2018). *colaboracion.dnp.gov.co*. Obtenido de

<https://cutt.ly/2vHChAC>

Departamento Nacional de Planeación. (2018). *orarbo.gov.co*. Obtenido de

<https://cutt.ly/dbJAMnl>

Durán, L. E. (Dic de 2016). *revistas.unilibre.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/MvHHqYy>

Durán, L. G. (Diciembre de 2016). *revistas.unilibre.edu.co*. Obtenido de

<https://cutt.ly/8WEIESC>

Gómez, M. C. (28 de May de 2019). *repository.ucatolica.edu.co*. Obtenido de

<https://cutt.ly/cvS8ncM>

Grisales Motato, A. L., & Rojas Arrieta, W. (2016). *repository.utp.edu.co*. Obtenido de

<https://cutt.ly/ZWNZOBR>

Hernandez Cortez, C., Castro Escarpulli, G., & Aguilera Arreola, G. (Ene de 2011).

mediagraphic.com. Obtenido de <https://cutt.ly/rvHGVno>

IDEAM. (15 de junio de 2007). *ideam.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/kWV0g4Z>

IDEAM. (14 de junio de 2007). *ideam.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/XWV7KIF>

IDEAM. (Mar de 2019). *cta.org.co*. Obtenido de cutt.ly/fvID4FT

- Instituto Humboldt. (2020). *XIX Peces de la Cuenca del Rio Magdalena, Colombia*. (C. A. Lasso, Ed.) Bogotá D.C.: Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia.
- Instituto Nacional de Salud. (May de 2020). *ins.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/ObWSMY4>
- Larrea Murrell, J. A., Rojas Badia, M. M., Romeu Álvarez, B., Rojas Hernandez, N. M., & Heyrich Pérez, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 24-34.
- MADS, MINSALUD. (22 de junio de 2007). *minambiente.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/LWBeByM>
- Millán Villarroel, D., Romero González, L., Brito, M., & Ramos Villarroel, A. (Sept de 2015). *redalyc.org*. Obtenido de <https://cutt.ly/DbYml9C>
- MinAmbiente. (30 de Nov de 2017). *minambiente.gov.co*. Obtenido de cutt.ly/5vIA5GA
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (13 de agosto de 2014). *minambiente.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/HWIA6z>
- Nabeela, F., Azizullah, A., Bibi, R., Uzma, S., Murad, W., Khan, S., . . . Häder, D.-P. (25 de Jul de 2014). *researchgate.net*. Obtenido de <https://cutt.ly/hbWUITt>
- Olea, N., & Fernandez, M. (Nov de 2001). *istas.net*. Obtenido de <https://cutt.ly/1bWTqBm>
- ONU. (Feb de 2017). *who.int*. Obtenido de <https://cutt.ly/xvIGSLR>
- ONU. (2019). *Naciones Unidas*. Obtenido de Una población en crecimiento: <https://cutt.ly/rzpdRco>
- Ortegon Torres, L., Ordoñez Osorio, K., Henao Murillo, B., Guio Duque, A., & Pelaez Jaramillo, C. (11 de Nov de 2015). *revistas.ut.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/ybYmPvF>

Ospina Zúñiga, Ó. E., Ochoa Olaya, A. J., & Vélez Ramirez, M. Y. (27 de noviembre de 2017).

scielo.org.co. Obtenido de <https://cutt.ly/KEizMj4>

Plenge Tellechea, F., Sierra Fonseca, J. A., & Castillo Sosa, Y. A. (Sept de 2007).

tecnociencia.uach.mx. Obtenido de <https://cutt.ly/TbWYwVk>

Procuraduría General de la Nación. (18 de Oct de 2013). *procuraduria.gov.vo*. Obtenido de

<https://cutt.ly/3vIDaSC>

Republica de Colombia. (1991). *dapre.presidencia.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/0bIRHOf>

Rojas, J. (Sept de 2011). *researchgate.net*. Obtenido de cutt.ly/lvInNu5

Rojas, J. A. (2002). *Calidad del agua 2da edición*. Bogotá DC.: Escuela Colombiana de Ingeniería .

Rossel Bernedo, L. J., Rossel Bernedo, L. A., Ferro, M., Ferro Gonzales, A. L., & Zapana

Quispe, R. R. (enero de 2020). *scielos.org.pe*. Obtenido de <https://cutt.ly/fWNAUJg>

Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escibar, J. C. (3 de diciembre de 2007).

redalyc.org. Obtenido de <https://cutt.ly/VWEOOci>

Suárez Pulido, D. X. (2019). *repositorio.uptc.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/gWEAKkL>

Suárez, D. X. (2019). *REMOCIÓN DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL Y*

MICROORGANISMOS PATÓGENOS EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA

BAJA DEL RÍO BOGOTÁ MEDIANTE EL USO DE UN DISPOSITIVO AUTO-

SOSTENIBLE. Tunja.

Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (05 de octubre de 2009). *scielo.org.co*. Obtenido de

<https://cutt.ly/NWEjHtr>

UNIANDÉS. (5 de diciembre de 2019). *uniandes.edu.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/oElrxUk>

Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2020). *regioncentralrape.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/MvH1jhN>

Valladares Cisneros, M. G., Valerio Cárdenas, C., de la Cruz Burelo, P., & Melgoza Alemán, R. M. (21 de diciembre de 2016). *scielo.org.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/6WVXLuX>

Viceministerio de Ambiente. (Mar de 2010). *minambiente.gov.co*. Obtenido de <https://cutt.ly/yblR2j1>

ANEXO

Anexo 1. Folleto para la realización de la socialización en la vereda Zumbamicos

RESULTADOS OBTENIDOS

Posterior a la aplicación del tratamiento se obtuvieron las siguientes eficiencias de remoción para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados.

Resultados - Parámetros físicos					
Parámetro	Unidad	Punto de muestreo	Valor inicial	Valor final	Eficiencia de remoción (%)
Color verdadero	UPC	EMB	45,8	24,4	46,4
		ZUM	50,2	27	45,2
		BAR	42,5	25	41,2
Turbiedad	NTU	EMB	661	76,3	88,5
		ZUM	1090	493	50,7
		BAR	1090	358	64,2
Sólidos totales	mg/L	EMB	557	205	63,8
		ZUM	1021	338	67,8
		BAR	1579	359	77,5

Resultados - Parámetros químicos					
Parámetro	Unidad	Punto de muestreo	Valor inicial	Valor final	Eficiencia de remoción (%)
Cloruro	mg Cl-L	EMB	0,11	0,7	0
		ZUM	8	2,93	0
		BAR	8	15,1	0
Hierro	mg Fe-L	EMB	0,172	0,122	29,2
		ZUM	16	8,73	45,3
		BAR	29	4,11	85,8
Manganeso	mg Mn-L	EMB	8	8	0
		ZUM	0,28	0,284	29,7
		BAR	0,543	8	0,6

Resultados - Parámetros biológicos					
Parámetro	Unidad	Punto de muestreo	Valor inicial	Valor final	Eficiencia de remoción (%)
Coliformes Totales	NMP/100ml	EMB	3248	776	77,7
		ZUM	2489	1080	56,6
		BAR	2575	1287	50,0
Coliformes Fecales	NMP/100ml	EMB	180,8	85	52,7
		ZUM	225	178,8	20,5
		BAR	285	132	53,6



UDEC

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

Universidad de Cundinamarca

Facultad de ciencias agropecuarias

Ingeniería ambiental

Girardot

2021

Evaluación de la eficiencia de un equipo portátil energéticamente autosostenible en el tratamiento de aguas superficiales de la cuenca alta del río Magdalena (2021)

Autores:

Santiago Barreto Corredor

Daniel Farid Campos Góngora

Tutora:

Diana Carolina Molina León

Universidad de Cundinamarca

Facultad de ciencias agropecuarias

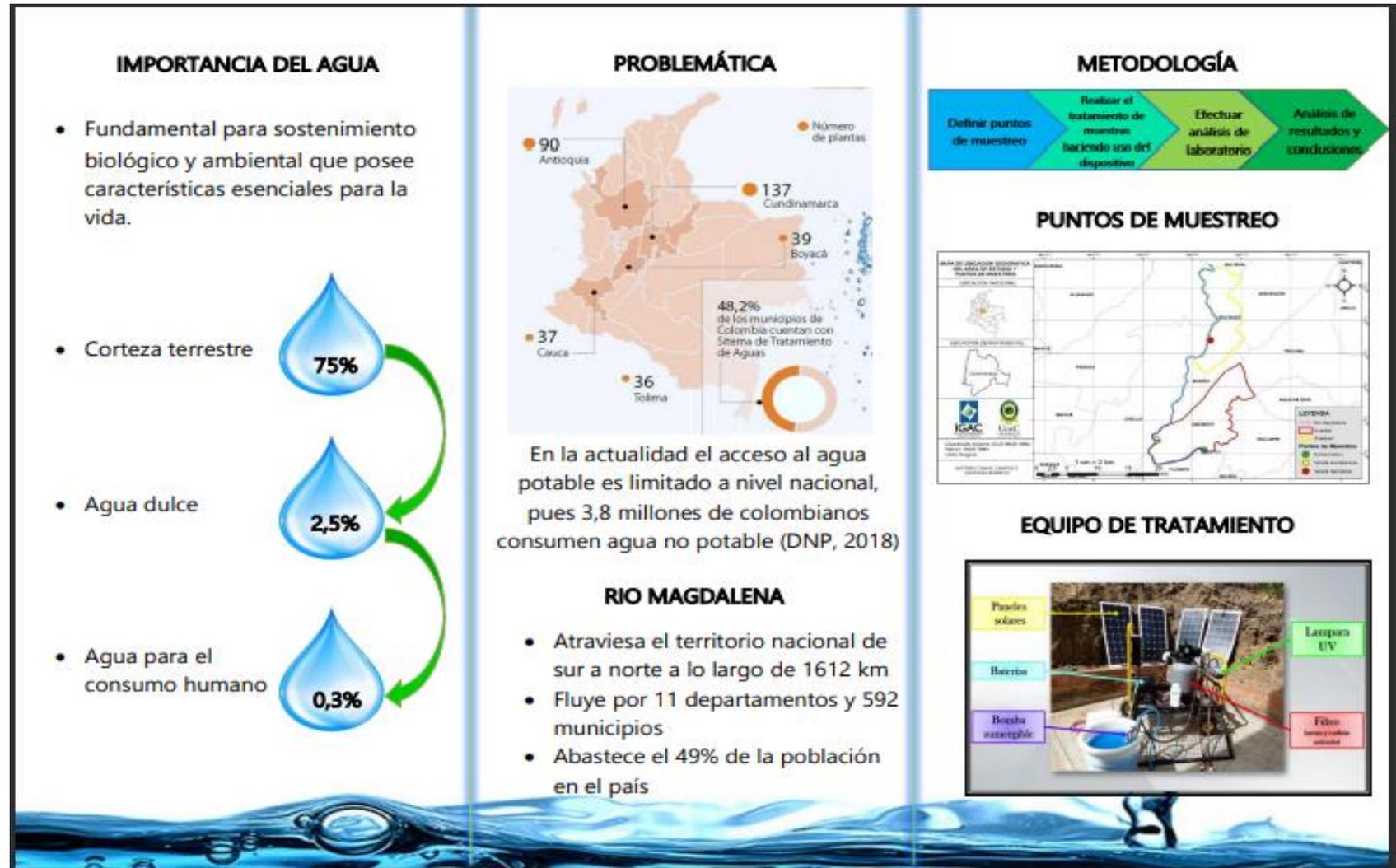
Ingeniería ambiental

Girardot

2021




Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Registro fotográfico de la socialización a la comunidad de la vereda Zumbamicos

Fuente: Elaboración propia